

การจัดการโซ่ความเย็นด้วยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา และเวลาเดินทางไม่แน่นอน*

COLD CHAIN MANAGEMENT BY USING VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS AND UNCERTAIN TRAVEL TIMES

ชาคร เกษมสันต์*, ธรีณี มณีศรี

Chakhorn Kasemsan*, Tharinee Manisri

วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

College of Logistics and Supply Chain, Sripatum University, Bangkok, Thailand

*Corresponding author E-mail: 6750178.st@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโซ่ความเย็น 2) เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถแบบสองระยะสำหรับการจัดส่งสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลรวมถึงการจัดส่งระหว่างจังหวัด และ 3) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลการเดินรถจริงขององค์กร วิธีการวิจัยใช้แนวทางเชิงผสมผสาน โดยเชิงปริมาณมุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่มีกรอบเวลา ซึ่งจัดเป็นปัญหาในกลุ่มเอ็นพีฮาร์ดและใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู่ในการหาคำตอบที่เหมาะสม จากนั้นเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองผลด้วย MATLAB โดยใช้ข้อมูลจริงจากบริษัทกรณีศึกษาที่มีลูกค้าทั้งหมด 91 ราย ส่วนการวิจัยเชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับเส้นทางที่พนักงานออกแบบจากประสบการณ์จริงที่ทำมานานกว่า 20 ปี ผลการวิจัยพบว่า 1) ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลวิธีค้นหาแบบทาบู่สามารถลดจำนวนรถขนส่งจาก 5 คัน เหลือ 4 คัน และยังสามารถลดเวลาเดินทางรวมจาก 1,331 นาที เหลือ 857 นาที คิดเป็นการลดลง 35.61% และลดระยะทางรวมลง 13.42% และ 2) ในพื้นที่ต่างจังหวัดสามารถลดจำนวนรถขนส่งจาก 21 คัน เหลือ 18 คัน และลดเวลาเดินทางรวมจาก 4,093 นาที เหลือ 3,536 นาที ลดลง 23.71% สรุปได้ว่าวิธีการค้นหาแบบทาบู่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งสินค้าในระบบโซ่ความเย็น ลดการใช้รถขนส่ง ลดเวลาเดินทางและลดระยะทางการขนส่ง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้จริงเพื่อยกระดับการแข่งขันและการพัฒนาอย่างยั่งยืนของอุตสาหกรรมไทย

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางเดินรถแบบมีกรอบเวลา, ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง, ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู่

Abstract

This research aimed to 3 objectives 1) To analyze and evaluate the impact of travel time uncertainty on the efficiency of cold chain systems, 2) To develop a two-phase vehicle routing approach for distributing goods in the Bangkok Metropolitan Region and its vicinity as well as for inter-provincial deliveries and 3) To compare the outcomes of the developed system with the actual routing data used by case study of organization. This research is used a mix method by the quantitative part focus on a mathematical model of the vehicle routing problem with time windows (VRPTW), which is categorized as NP-Hard problem and applied the Tabu Search (TS) metaheuristic to obtain near optimal solutions. The model is programed and simulated using MATLAB with real operational data from a case study company serving 91 customers. The qualitative part involved comparing the simulation results with the actual routing decisions designed by employees with more than 20 years of practical experience. The results showed that 1) In Bangkok and vicinity, the TS approach reduced the number of vehicles from 5 to 4 decreased total travel time from 1,331 minutes to 857 minutes (Reduction of 35.61%) and lowered the total travel distance by 13.42% and 2) Provincial areas, the number of vehicles is reduced from 21 to 18 and the total travel time decreased from 4,093 minutes to 3,536 minutes (Reduction of 23.71%). In conclusion, the Tabu Search algorithm significantly enhanced the efficiency of cold chain transportation by reducing fleet size, travel time and total distance traveled. This approach can be practically applied to improve vehicle utilization, minimize product losses and strengthen the competitive and sustainable development of the Thai cold chain industry.

Keywords: Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), Travel Time Uncertainty, Tabu Search Algorithm

บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารสดรายสำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การจัดการโลจิสติกส์ให้มีความเย็น จึงมีบทบาทสำคัญต่อการรักษาคุณภาพสินค้า ลดการสูญเสียและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ปัญหาที่โดดเด่นในปัจจุบัน คือ ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง ทั้งจากการจราจรที่หนาแน่นในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมถึงความซับซ้อนของเส้นทางระหว่างจังหวัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ หากการขนส่งใช้เวลานานเกินมาตรฐานจะทำให้สินค้าเสื่อมคุณภาพและก่อให้เกิดการสูญเสีย (Babae, T. et al., 2020)

ในระดับนโยบาย รัฐบาลได้ผลักดันยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนพัฒนาระบบโลจิสติกส์แห่งชาติที่มุ่งลดต้นทุนและยกระดับโครงสร้างพื้นฐานโลจิสติกส์ ขณะเดียวกันองค์การ FAO รายงานว่าทั่วโลกมีการสูญเสียอาหารกว่า 14% ก่อนถึงระดับค้าปลีก แสดงให้เห็นว่าปัญหาการสูญเสียเป็นประเด็นเร่งด่วนที่ต้องจัดการทั้งใน

ระดับสากลและระดับประเทศ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาขั้นตอนจัดเส้นทางที่ผสมผสานข้อมูลจริงกับเทคนิคการหาค่าเหมาะสม โดยเฉพาะการใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับ MATLAB เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดเส้นทางอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดจำนวนยานพาหนะ เวลา และระยะทาง รวมทั้งลดความเสี่ยงของการสูญเสีย ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของภาคธุรกิจในการยกระดับคุณภาพบริการโลจิสติกส์และสร้างความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอาหารของไทยในระยะยาว

ในปัจจุบัน ระบบโลจิสติกส์ใช้ความเย็นเผชิญกับสภาพปัญหาที่ซับซ้อนและทวีความรุนแรงมากขึ้นจากหลายปัจจัย โดยเฉพาะความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางและการจัดเส้นทางที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพสินค้าและการสูญเสีย งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นและคุณภาพสินค้าลดลง โดย Anderluh, A. et al. พบว่า ความผันผวนของเวลาเดินทางส่งผลให้ต้นทุนรวมของการแก้ปัญหา VRP แบบหลายชั้น (Two-echelon VRP) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Anderluh, A. et al., 2020) ขณะที่ Hu, L. et al. ศึกษาการจัดเส้นทางกระจายสินค้าควบคุมอุณหภูมิภายใต้สภาพการจราจรจริง พบว่า หากไม่พิจารณาความไม่แน่นอนอย่างเหมาะสม จะทำให้เกิดการสูญเสียของสินค้าในระดับสูงและไม่สามารถรักษาความสดใหม่ได้ อีกทั้ง ในมิติของโลจิสติกส์ใช้ความ ปัญหาไม่ได้จำกัดแค่การกำหนดเส้นทาง แต่ยังรวมถึงการตัดสินใจเชิงทำเลที่ตั้งและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Hu, L. et al., 2021) งานของ Leng, L. et al. เสนอโมเดลเชิงสองเป้าหมายที่พิจารณาทั้งต้นทุนโลจิสติกส์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจจัดเส้นทาง ทำให้เห็นถึงความซับซ้อนที่ผู้ประกอบการต้องเผชิญ (Leng, L. et al., 2020) ขณะที่ Wang, Z. et al. เน้นว่าการออกแบบระบบจัดเส้นทางในโซ่ความเย็นจำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซ ซึ่งหากละเลยประเด็นดังกล่าวจะยิ่งเพิ่มต้นทุนเชิงสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นอกจากนี้ การศึกษาเชิงขั้นตอนวิธี ยังพบว่า วิธีการแบบดั้งเดิมไม่สามารถรองรับปัญหาความไม่แน่นอนและข้อจำกัดที่ซับซ้อนในปัจจุบันได้ (Wang, Z. et al., 2020) งานของ Xu, W. D. & Li, J., Xia, Y. et al. เสนอขั้นตอนวิธี Fissile Ripple Spreading สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางแบบขึ้นกับเวลา โดยสามารถปรับเส้นทางตามการเปลี่ยนแปลงของการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Xu, W. D. & Li, J., 2020); (Xia, Y. et al., 2018) ส่วน Zhang, Y. et al. เน้นการจัดการเส้นทางในโซ่ความเย็นที่มีกรอบเวลาหลายจุด ซึ่งเป็นความท้าทายที่ซับซ้อนมากขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง จากหลักฐานงานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่า สภาพปัญหาในปัจจุบันของระบบโลจิสติกส์ใช้ความเย็นไม่ได้มีเพียงปัญหาการจราจรติดขัดหรือความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางเท่านั้น แต่ยังเชื่อมโยงกับต้นทุนการขนส่ง ความเสี่ยงของการสูญเสียคุณภาพสินค้า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและข้อจำกัดทางเวลา ซึ่งทำให้การพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาเชิงประสิทธิภาพและสามารถใช้ได้จริงในภาคธุรกิจ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน (Zhang, Y. et al., 2020)

สำหรับประเทศไทย ปัญหาของระบบโลจิสติกส์ใช้ความเย็นยังคงเป็นความท้าทายสำคัญ โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน ทำให้การขนส่งสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิไม่สามารถคาดการณ์เวลาเดินทางได้อย่างแม่นยำ ส่งผลต่อความสดและคุณภาพของสินค้า ขณะที่การกระจายสินค้าไปยังต่างจังหวัดก็มีความซับซ้อนเช่นกัน (Wu, D. et al., 2022) เนื่องจากระยะทางที่ไกล ความไม่แน่นอนของสภาพถนนรวมถึงข้อจำกัดด้านเวลาในการส่งมอบที่กำหนดโดยลูกค้า ปัญหาเหล่านี้ทำให้ผู้ประกอบการต้องใช้นยานพาหนะจำนวนมากเพื่อชดเชยความเสี่ยง ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นและเพิ่มความเสี่ยงของการสูญเสีย

ในโซ่อุปทานอาหาร กรณีศึกษาของบริษัทที่ใช้เป็นข้อมูลในการวิจัยนี้ ครอบคลุมลูกค้า จำนวน 91 ราย ในพื้นที่ กรุงเทพฯ ปริมณฑล และจังหวัดต่าง ๆ บริษัทประสบปัญหาการจัดเส้นทางที่ไม่เหมาะสม ใช้รถมากเกินความจำเป็น เช่น ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลต้องใช้รถ 5 คัน ขณะที่การขนส่งไปยังต่างจังหวัดต้องใช้มากถึง 21 คัน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสูงและการใช้ประโยชน์รถต่ำ อีกทั้งยังไม่สามารถระยะเวลาและระยะทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือในการส่งมอบสินค้าและคุณภาพของสินค้าที่ควบคุมอุณหภูมิ การแก้ไขปัญหาจึงต้องอาศัยแบบจำลองการจัดเส้นทางที่สามารถสะท้อนสภาพจริงของการเดินทาง และช่วยลดจำนวนยานพาหนะ เวลารวม และการสูญเสียได้

จากความท้าทายที่เกิดขึ้นในระบบโลจิสติกส์โซ่ความเย็นของประเทศไทย ทั้งความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง ความซับซ้อนของเส้นทางระหว่างจังหวัด ต้นทุนการขนส่งที่สูงและความเสี่ยงต่อการสูญเสียคุณภาพสินค้า ทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการวิเคราะห์และตัดสินใจที่สามารถสะท้อนสภาพการเดินทางจริง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทาง การศึกษานี้จึงมีความสำคัญ เนื่องจากได้นำขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบร่วมกับ MATLAB มาใช้พัฒนาการจัดเส้นทางที่สามารถลดจำนวนยานพาหนะ ลดเวลาและระยะทางในการขนส่ง อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสีย ซึ่งเป็นปัญหาเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและคุณภาพการบริการในระบบโลจิสติกส์โซ่ความเย็น แต่ยังเป็นแนวทางเชิงปฏิบัติที่ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้จริงในการจัดการขนส่งในกรุงเทพฯ ปริมณฑล และต่างจังหวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ด้านโลจิสติกส์ของประเทศที่มุ่งเน้นการลดต้นทุน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสร้างความยั่งยืนในโซ่อุปทานสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ งานวิจัยนี้จึงมีคุณค่าเชิงวิชาการในการพัฒนาความรู้ด้านการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลาและยังมีประโยชน์เชิงปฏิบัติสำหรับผู้ประกอบการและอุตสาหกรรมโซ่ความเย็นของไทยในระยะยาว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโซ่ความเย็น
2. เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการจัดเส้นทางการเดินทางแบบสองระยะสำหรับการจัดส่งสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและการจัดส่งระหว่างจังหวัด
3. เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลการเดินทางจริงขององค์กร

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ ที่มุ่งเน้นการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าในระบบโซ่ความเย็นภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง เพื่อให้ได้แนวทางการจัดเส้นทางที่สามารถลดจำนวนยานพาหนะ เวลาการขนส่ง ระยะทางรวม และลดความเสี่ยงของการสูญเสียคุณภาพสินค้า การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจริงของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งสินค้าในโซ่ความเย็น โดยใช้กรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และต่างจังหวัดเป็นพื้นที่ศึกษา และใช้ ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับ MATLAB ในการสร้างและประเมินแบบจำลอง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรของการวิจัย คือ เส้นทางขนส่งสินค้าที่ควบคุมอุณหภูมิในเขตกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และจังหวัดต่าง ๆ โดยกลุ่มตัวอย่างที่เลือกมาศึกษา คือ ลูกค้า 91 ราย ที่บริษัทผู้ให้บริการทำการจัดส่งเป็นประจำ ซึ่งแต่ละรายมีข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พิกัดที่ตั้ง (ละติจูด - ลองจิจูด) ปริมาณความต้องการสินค้า ช่วงเวลาให้บริการ เวลาการให้บริการและข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดส่งเฉพาะลูกค้า กลุ่มตัวอย่างนี้สะท้อนปัญหาที่แท้จริงของผู้ประกอบการโลจิสติกส์โซ่ความเย็น เนื่องจากมีทั้งลูกค้าในเขตเมืองที่มีปัญหาการจราจรหนาแน่นและลูกค้าในต่างจังหวัดที่ต้องเดินทางไกลและใช้เวลานาน

วิธีการใช้และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ฐานข้อมูลลูกค้าและการให้บริการ - รวบรวมจากบริษัทกรณีศึกษา
2. เมทริกซ์ระยะทางและเวลาเดินทาง - สร้างขึ้นจาก Google Maps API และ Longdo Traffic API เพื่อสะท้อนเวลาการเดินทางจริงในสภาวะการจราจรที่แตกต่าง
3. แบบจำลองการจัดเส้นทาง - กำหนดปัญหาในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง
4. ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบู - ใช้เป็นขั้นตอนวิธีหลักในการหาคำตอบ โดย MATLAB เป็นแพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาและแสดงผลของแบบจำลอง

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบูที่พัฒนาขึ้นบน MATLAB ได้รับการตรวจสอบคุณภาพในสองขั้นตอน ได้แก่

1. การตรวจสอบความถูกต้อง - ทำโดยการทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจำลอง เพื่อประเมินว่าโครงสร้างและการทำงานของวิธีขั้นตอนสามารถประมวลผลได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด
2. การตรวจสอบความเที่ยงตรง - ทำโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับเส้นทางขนส่งจริงที่บริษัทใช้งานอยู่ เพื่อประเมินความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ ผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องและเชื่อถือได้ ทั้งในด้าน จำนวนยานพาหนะที่ใช้ เวลาการขนส่งและระยะทางรวม สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองในการนำไปใช้ประยุกต์ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษาที่ใช้ในการปฏิบัติจริง โดยครอบคลุมข้อมูลของลูกค้า 91 ราย ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และจังหวัดต่าง ๆ ข้อมูลที่ใช้ ประกอบด้วย พิกัดที่ตั้งของลูกค้า (Latitude-Longitude) ปริมาณความต้องการสินค้า ช่วงเวลาให้บริการและเวลาที่ใช้ในการให้บริการ ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างเงื่อนไขของแบบจำลองการจัดเส้นทาง
2. ข้อมูลทุติยภูมิ ได้จาก Google Maps API และ Longdo Traffic API เพื่อนำมาสร้างเมทริกซ์ระยะทางและเวลาเดินทางระหว่างจุดส่งสินค้า ข้อมูลดังกล่าวช่วยสะท้อน ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในสภาพแวดล้อมการขนส่งของประเทศไทย

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	...	91
0	0	45.2	45.9	42.1	43.6	46.1	45.6	41.0	43.9	45.2	41.4	44.6	47.3	41.4	46.4	46.2	45.3	50.1	45.4	46.8	...	218.4
1	44.9	0	22.7	28.7	19.8	21.2	20.7	19.0	19.0	21.3	22.2	21.5	23.6	27.2	22.6	21.3	21.5	24.1	20.5	22.3	...	209.8
2	51.1	15.4	0	24.3	12.9	16.0	16.2	20.6	15.2	9.1	23.8	13.9	19.3	22.8	8.8	10.9	17.9	13.8	15.3	9.1	...	207.7
3	46.8	25.7	25.4	0	22.8	18.3	23.5	17.5	21.9	24.3	16.1	24.3	14.4	10.9	25.0	24.1	16.5	26.4	18.4	24.7	...	206.4
4	46.0	10.5	13.4	25.2	0	16.9	17.1	20.1	16.1	14.2	23.3	9.0	20.1	23.7	13.7	12.0	18.8	14.7	16.2	13.4	...	210.2
5	49.6	17.4	17.2	19.1	20.8	0	15.2	16.9	13.7	18.1	19.7	16.0	14.0	17.5	16.7	15.9	12.6	18.2	9.0	16.4	...	210.6
6	46.0	10.5	22.4	29.8	20.1	22.3	0	20.1	20.1	21.7	23.3	9.1	24.8	28.3	22.9	22.5	22.6	25.2	21.6	23.2	...	210.2
7	44.2	23.8	23.6	19.7	27.7	17.8	21.6	0	20.1	24.5	13.0	22.4	15.5	18.2	23.2	22.3	14.2	24.6	18.0	22.8	...	210.0
8	45.6	18.7	18.4	24.9	22.3	17.0	16.5	15.1	0	19.3	18.3	17.3	19.8	23.3	18.4	17.1	17.6	19.9	16.3	18.1	...	210.9
9	52.4	14.8	9.2	25.6	12.3	17.2	17.5	21.9	16.4	0	25.1	13.3	20.5	24.0	9.7	10.3	19.2	15.1	16.5	10.0	...	208.5
10	45.4	27.4	27.1	18.9	25.0	22.1	25.2	14.9	24.3	28.0	0	26.0	16.9	18.1	27.4	25.8	18.9	28.9	22.3	27.1	...	205.3
11	45.0	9.5	12.4	24.2	16.2	15.9	16.1	19.1	15.1	13.2	22.3	0	19.1	22.7	12.7	11.0	17.8	13.7	15.2	12.4	...	209.2
12	47.1	19.2	19.0	20.3	23.1	13.2	17.0	12.6	15.5	19.9	16.7	17.8	0	18.7	18.6	17.7	10.0	20.0	13.4	18.2	...	212.2
13	45.8	24.3	24.1	10.7	21.8	15.9	23.6	19.2	22.1	23.4	17.4	22.8	14.6	0	23.2	24.3	16.6	24.7	16.1	22.9	...	205.4
14	50.7	15.9	8.8	23.9	13.4	15.6	15.8	20.2	14.8	9.6	23.4	14.4	18.9	22.4	0	11.4	17.5	13.4	14.9	8.3	...	206.9
15	51.1	15.6	10.9	24.3	13.1	16.0	16.2	20.6	15.2	10.1	23.8	14.1	19.3	22.8	11.4	0	17.9	13.8	15.3	11.7	...	209.4
16	46.0	18.8	18.6	16.3	22.6	12.8	16.6	14.2	15.1	19.4	17.0	17.4	11.3	14.8	18.1	17.2	0	19.6	13.0	17.8	...	211.7
17	47.8	15.1	13.5	21.0	18.2	12.6	12.9	17.3	11.9	14.3	20.5	13.7	15.9	19.5	12.7	13.6	14.6	0	12.0	12.4	...	207.3
18	48.7	16.5	16.2	18.1	20.3	8.9	14.3	16.0	12.7	17.1	18.7	15.1	13.0	16.6	15.8	14.9	11.7	17.2	0	15.5	...	209.4
19	50.4	16.2	9.1	23.6	13.7	15.2	15.5	19.9	14.4	9.9	23.1	14.7	18.5	22.1	8.3	11.8	17.2	13.1	14.5	0	...	206.5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0	...
91	213.5	199.2	202.4	200.6	203.9	205.9	206.2	204.5	205.1	203.2	200.1	198.0	206.0	200.0	202.8	201.1	207.1	203.7	205.2	202.4	...	0

ภาพที่ 1 เมทริกซ์ของเวลาเดินทางจากคลังสินค้าถึงลูกค้าในการเดินทาง
ในสภาวะความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง (นาที)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	...	91
0	0	30.7	31.7	29.4	31.3	32.4	32.6	26.1	31.6	31.5	23.5	31.4	25.6	29.4	31.8	31.6	27.2	32.1	32.3	31.9	...	278.3
1	33.0	0	6.1	7.7	3.7	5.5	5.7	4.3	4.7	3.9	6.1	5.8	5.7	7.4	5.8	5.7	4.9	6.0	5.4	5.7	...	262.2
2	35.0	1.3	0	4.8	0.9	1.8	2.1	4.3	1.3	0.2	6.1	1.1	2.8	4.5	0.2	0.5	2.3	1.2	1.7	0.3	...	260.6
3	33.0	4.8	4.8	0	5.8	2.8	4.4	3.7	3.6	6.1	2.9	4.6	2.1	0.6	4.6	4.5	2.4	4.7	2.8	4.5	...	264.6
4	33.4	0.4	1.2	4.9	0	2.0	2.3	4.7	1.5	1.2	6.5	0.1	3.0	4.7	1.4	0.9	2.5	1.4	1.9	1.3	...	262.4
5	34.8	2.3	2.3	3.6	4.8	0	1.9	2.7	1.1	2.3	4.2	2.0	1.6	3.3	2.1	1.9	1.1	2.2	0.2	1.9	...	261.9
6	33.4	0.4	4.3	8.1	3.9	6.0	0	4.8	5.2	4.2	6.5	0.2	6.2	7.9	4.4	6.2	5.4	6.4	5.8	4.5	...	262.5
7	30.8	4.1	4.1	3.9	5.9	2.7	3.8	0	2.9	4.1	2.1	3.9	2.9	3.6	3.9	3.8	1.6	4.0	2.7	3.8	...	270.0
8	33.8	4.7	4.7	6.5	5.2	4.1	4.3	3.1	0	4.6	4.9	4.4	4.5	6.3	4.4	4.3	3.7	4.6	4.0	4.3	...	265.3
9	35.2	1.2	0.2	5.0	0.8	2.1	2.3	4.6	1.5	0	6.3	0.9	3.0	4.7	0.4	0.3	2.6	1.4	1.9	0.5	...	260.8
10	26.4	6.6	6.6	2.9	10.0	4.0	6.2	2.3	4.3	6.5	0	6.3	2.8	3.0	5.2	6.2	3.1	5.4	4.1	5.1	...	267.9
11	33.2	0.3	1.1	4.8	1.6	1.9	2.1	4.6	1.3	1.1	6.4	0	2.8	4.5	1.2	0.7	2.3	1.2	1.7	1.1	...	262.3
12	30.9	2.7	2.7	3.8	4.4	1.2	2.3	1.5	1.5	2.7	3.5	2.4	0	3.5	2.4	2.3	0.3	2.6	1.3	2.3	...	261.5
13	32.8	6.1	6.1	0.5	5.7	2.2	4.2	3.4	3.4	5.9	3.3	5.8	1.9	0	5.6	4.3	2.2	5.7	2.3	5.5	...	264.4
14	34.9	1.5	0.2	4.7	1.1	1.7	2.0	4.2	1.2	0.4	6.0	1.2	2.7	4.4	0	0.6	2.2	1.1	1.6	0.1	...	260.4
15	34.9	1.3	0.5	4.7	0.9	1.7	2.0	4.2	1.2	0.3	6.0	1.1	2.7	4.4	0.6	0	2.2	1.1	1.6	0.7	...	260.9
16	30.7	2.6	2.6	2.7	4.3	1.1	2.2	1.8	1.4	2.6	3.3	2.3	0.7	2.4	2.3	2.2	0	2.5	1.2	2.2	...	261.5
17	34.2	1.6	1.2	3.9	3.3	1.0	1.3	3.5	0.5	1.3	5.3	1.4	2.0	3.7	1.0	1.3	1.5	0	0.9	0.9	...	260.4
18	34.6	2.1	2.1	3.3	3.8	0.2	1.7	2.4	0.8	2.0	3.9	1.8	1.3	3.1	1.8	1.7	0.9	2.0	0	1.7	...	260.9
19	34.8	1.6	0.3	4.5	1.2	1.6	1.9	4.1	1.1	0.5	5.9	1.3	2.6	4.3	0.1	0.7	2.1	1.0	1.5	0	...	260.3
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0	...
91	279.6	259.7	258.8	263.0	261.0	259.6	263.2	262.9	259.0	258.8	268.0	257.7	270.1	263.0	258.9	258.4	262.4	258.9	259.4	258.8	...	0

ภาพที่ 2 เมทริกซ์ของระยะทางจากคลังสินค้าถึงลูกค้าทั้งหมด (กิโลเมตร)

การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้อาศัยการนำข้อมูล ลูกค้า 91 ราย พร้อมพิกัดระยะทาง เวลาเดินทาง ความต้องการสินค้าและช่วงเวลาให้บริการ มาประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบบูล เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง ผลลัพธ์จากแบบจำลองถูกนำมาเปรียบเทียบกับเส้นทางจริงที่บริษัทใช้งาน โดยใช้ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ จำนวนรถ เวลารวม ระยะทางรวม และความเสี่ยงต่อการสูญเสีย เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติและยกระดับคุณภาพการให้บริการโลจิสติกส์ให้ดียิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้ลูกค้าในสถานการณ์ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางของลูกค้าในกรุงเทพและปริมณฑล

ลำดับที่	หัวข้อเปรียบเทียบ	แบบดั้งเดิม	แบบยืดหยุ่น ทาบู	ผลต่าง (แบบดั้งเดิม - แบบยืดหยุ่นทาบู)	ผลต่าง (%)
1.	จำนวนรถขนส่ง	5	4	1	20
2.	เวลาเดินทาง (นาที)	1,331	857	474	35.61
3.	เวลาเดินทางเฉลี่ย/คัน (นาที)	266	214	52	19.55
4.	ระยะทาง (กม.)	361.18	312.71	48.47	13.42
5.	ระยะทางเฉลี่ย/คัน (กม.)	72.24	78.18	-5.94	-8.22
6.	น้ำหนักรวมบรรทุกสินค้า (กก.)	5,487	5,487	0	0
7.	น้ำหนักบรรทุกสินค้าเฉลี่ย/คัน (กก.)	1,097	1,372	-275	-25.07

จากตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษาและแบบที่พัฒนาขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบูสำหรับการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน ดังนี้

1. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่า การวิเคราะห์ผลกระทบของความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางต่อประสิทธิภาพระบบโซ่ความเย็น แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบูร่วมกับ MATLAB สามารถลดความเสี่ยงจากเวลาการขนส่งที่ยืดเยื้อได้อย่างชัดเจน โดยเวลาเดินทางรวมลดลงจาก 1,331 นาที เหลือ 857 นาที คิดเป็นการลดลง 35.61% ซึ่งสะท้อนว่าการใช้ข้อมูลจริงจาก API และการพิจารณาความผันผวนของเวลาเดินทางช่วยให้สามารถวางแผนเส้นทางได้แม่นยำและเชื่อถือได้มากกว่าแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา

2. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่า การพัฒนาขั้นตอนวิธีจัดเส้นทางแบบสองระยะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถลดจำนวนรถที่ใช้จาก 5 คัน เหลือ 4 คัน ลดลง 20% และยังสามารถลดระยะทางรวมจาก 361.18 กิโลเมตร เหลือ 312.71 กิโลเมตร คิดเป็นการลดลง 13.42% สะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งด้านเวลา ระยะทาง และภาระบรรทุกสินค้าเฉลี่ยต่อคันที่เพิ่มขึ้น 25.07%

3. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางเดิมที่พนักงานออกแบบจากประสบการณ์ ผลจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างเส้นทางที่มีความสมมูลมากกว่า โดยแม้จำนวนรถลดลง แต่การกระจายเส้นทางยังคงเหมาะสม ส่งผลให้เวลาและระยะทางโดยรวมลดลง ขณะที่ปริมาณสินค้าที่ขนส่งยังคงครบถ้วน ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นแนวทางปฏิบัติได้จริงในระบบโลจิสติกส์โซ่ความเย็น

การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดความถี่ของการใช้รถและเพิ่มการใช้ประโยชน์ต่อเที่ยว ส่งผลโดยตรงต่อการลดต้นทุนโลจิสติกส์และลดการสูญเสีย เนื่องจากเวลาขนส่งสั้นลง

ตารางที่ 2 ผลการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้ลูกค้าในต่างจังหวัด

ลำดับที่	หัวข้อเปรียบเทียบ	แบบดั้งเดิม	แบบยืดหยุ่น ทาบู	ผลต่าง (แบบดั้งเดิม - แบบยืดหยุ่นทาบู)	ผลต่าง (%)
1.	จำนวนรถขนส่ง	21	18	3	14.29
2.	เวลาเดินทาง (นาท.)	14,447	11,022	3,425	23.71
3.	เวลาเดินทางเฉลี่ย/คัน (นาท.)	687.95	612.33	75.62	10.99
4.	ระยะทาง (กม.)	17,253	16,847	406	2.35
5.	ระยะทางเฉลี่ย/คัน (กม.)	821.57	935.95	-114.38	-13.92
6.	น้ำหนักรวมบรรทุกสินค้า (กก.)	24,975	24,975	0	0
7.	น้ำหนักบรรทุกสินค้าเฉลี่ย/คัน (กก.)	1,189	1,387	-198	-16.65

จากตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าในเขตต่างจังหวัดระหว่างแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา กับแบบที่พัฒนาขึ้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู พบว่า แบบจำลองที่พัฒนาสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน ดังนี้

1. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่า ระยะทางในเส้นทางต่างจังหวัดส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบโซ่ความเย็น เนื่องจากระยะทางที่ยาวและซับซ้อนทำให้เวลาเดินทางรวมสูงมาก แต่จากการใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูร่วมกับ MATLAB พบว่า สามารถลดเวลาเดินทางรวมจาก 14,447 นาที่ เหลือ 11,022 นาที่ ลดลง 3,425 นาที่ หรือคิดเป็น 23.71% ซึ่งการลดเวลาเดินทางจะช่วยลดความเสี่ยงของการเสื่อมคุณภาพสินค้าในเส้นทางที่มีระยะเวลาในการขนส่งยาวนาน

2. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่า การพัฒนาขั้นตอนวิธีจัดเส้นทางแบบสองระยะในพื้นที่ต่างจังหวัด ช่วยลดจำนวนรถจาก 21 คัน เหลือ 18 คัน ลดลง 14.29% ขณะเดียวกันยังสามารถลดระยะทางรวมจาก 17,253 กิโลเมตร เหลือ 16,847 กิโลเมตร ลดลง 406 กิโลเมตร หรือ 2.35% แม้ระยะทางเฉลี่ยต่อคันเพิ่มขึ้นจาก 821.57 กิโลเมตร เป็น 935.95 กิโลเมตร หรือเพิ่มขึ้น 13.92% แต่เป็นผลจากจำนวนรถที่ลดลง ทำให้การใช้ประโยชน์ยานพาหนะมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณการบรรทุกเฉลี่ยต่อคันยังเพิ่มจาก 1,189 กิโลกรัม เป็น 1,387 กิโลกรัม เพิ่มขึ้น 16.65% แสดงถึงการจัดสรรภาระบรรทุกที่สมดุลและคุ้มค่า

3. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างเส้นทางที่มีประสิทธิภาพมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลดจำนวนรถและเวลาเดินทางรวมได้อย่างชัดเจน แม้ว่าระยะทางเฉลี่ยต่อคันและภาระบรรทุกจะเพิ่มขึ้น แต่กลับเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ทรัพยากรในเชิงลึก ซึ่งส่งผลดีต่อการลดต้นทุนและลดการสูญเสียในระบบโซ่ความเย็น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้จริงในการจัดการขนส่งสินค้าควบคุมอุณหภูมิในเส้นทางระยะไกลอีกด้วย

โดยสรุป แบบที่พัฒนาขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบ สามารถช่วยลดจำนวนรถ เวลารวมและระยะทางรวมในการขนส่งต่างจังหวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันยังเพิ่มการใช้ประโยชน์ต่อคันโดยไม่กระทบต่อปริมาณสินค้าที่ต้องส่งมอบ ส่งผลดีต่อการลดต้นทุนโลจิสติกส์และลดความเสี่ยงของการสูญเสีย ในเส้นทางที่มีระยะทางไกลและแบบมีกรอบเวลา

อภิปรายผล

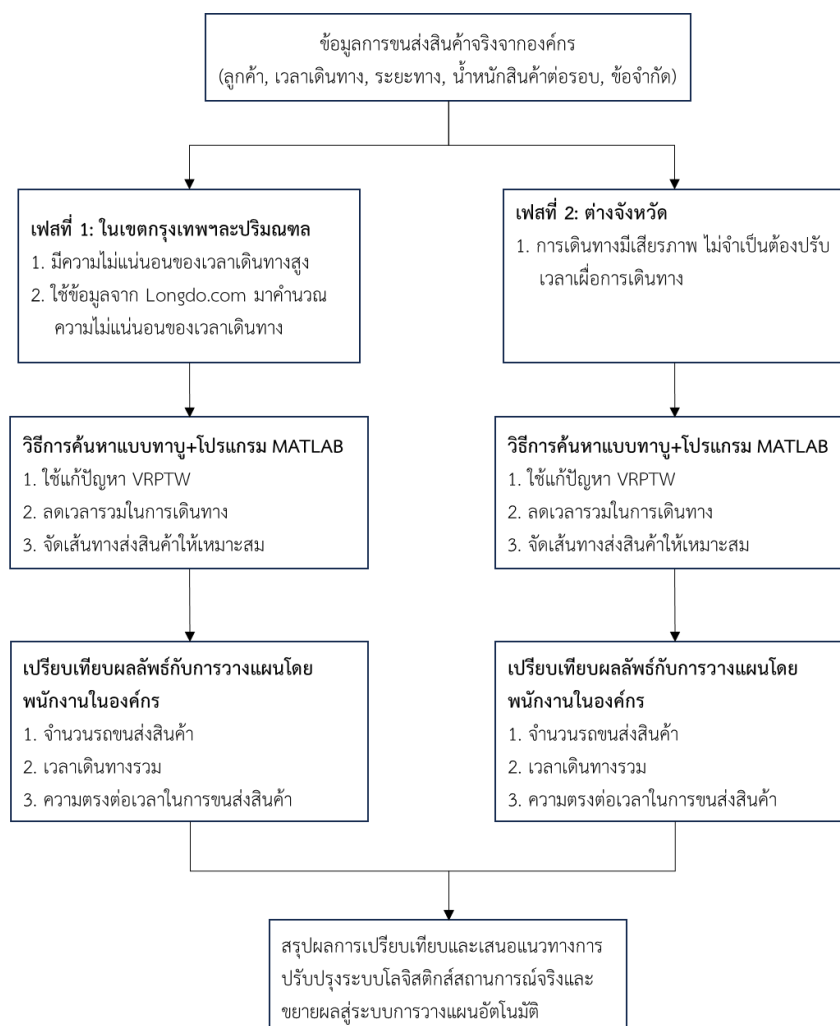
1. วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่า การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางชี้ให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับ MATLAB สามารถลดเวลาเดินทางรวมลงได้อย่างมีนัยสำคัญทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด การลดลงของเวลาขนส่งกว่า 35% ในพื้นที่กรุงเทพฯ และ 23% ในพื้นที่ต่างจังหวัด เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าการบูรณาการข้อมูลจริงจาก API โดยเฉพาะ Google Maps และ Longdo Traffic ช่วยสะท้อนความผันผวนของสภาพจราจรได้แม่นยำกว่าการใช้ค่าคงที่ทั่วไป ส่งผลให้การวางแผนเส้นทางสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากขึ้น ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานของ Anderluh, A. et al. ที่ระบุว่าความผันผวนของเวลาเดินทางเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนรวมและความน่าเชื่อถือของระบบการขนส่ง หากไม่พิจารณาความผันผวนดังกล่าว อาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพสินค้าและเพิ่มค่าใช้จ่ายในระบบโลจิสติกส์ (Anderluh, A. et al., 2020)

2. วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่า การพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางแบบสองระยะด้วยขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบช่วยลดจำนวนรถที่ใช้ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จาก 5 คัน เหลือ 4 คันในกรุงเทพฯ และจาก 21 คัน เหลือ 18 คันในต่างจังหวัด พร้อมกับปรับปรุงการใช้ประโยชน์ยานพาหนะให้คุ้มค่ามากขึ้น ทั้งด้านการบรรทุกเฉลี่ยต่อคันที่สูงขึ้นและการใช้เส้นทางรวมที่สั้นลงกว่าแบบเดิม ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกส์ช่วยรองรับข้อจำกัดของ VRPTW ได้จริงในสภาพแวดล้อมการขนส่งที่ซับซ้อน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานของ Xu, W. D. & Li, J. ที่เสนอว่าการใช้ขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกส์สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ไม่แน่นอนได้อย่างยืดหยุ่น (Xu, W. D. & Li, J., 2020) และใกล้เคียงกับการค้นพบของ Zhang, Y. et al. ที่ยืนยันว่าการออกแบบเส้นทางในโซ่ความเย็นซึ่งมีหลายกรอบเวลาและหลายข้อจำกัดจำเป็นต้องใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมขั้นสูงเพื่อสร้างเส้นทางที่ลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันได้อย่างยั่งยืน (Zhang, Y. et al., 2020)

3. วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 พบว่า การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการจัดเส้นทางจริงที่บริษัทกรณีศึกษาใช้งานมาอย่างยาวนาน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างชัดเจน ทั้งการลดจำนวนรถ ระยะทางรวมและเวลาเดินทาง โดยยังคงรักษาปริมาณสินค้าที่ต้องจัดส่งได้ครบถ้วน สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือและความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในเชิงปฏิบัติ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ที่รายงานว่าการจัดการโลจิสติกส์ที่ไม่มีประสิทธิภาพถือเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการสูญเสียอาหารในโซ่อุปทาน การลดเวลาและจำนวนรถขนส่งจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญที่ช่วยลดโอกาสการเสื่อมคุณภาพของสินค้าได้และยังมีส่วนช่วยในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระบบโลจิสติกส์โซ่ความเย็นของไทย (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020)



องค์ความรู้ใหม่



ภาพที่ 3 กรอบการทำงานของกรอกแบบเส้นทางภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลา
โดยใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาคู

งานวิจัยนี้ได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สะท้อนการประยุกต์ใช้ข้อมูลจริงขององค์กร ซึ่งครอบคลุมข้อมูลลูกค้า เวลาเดินทาง ระยะทาง ปริมาณสินค้าต่อรอบ และข้อจำกัดด้านการให้บริการ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 เฟสหลัก คือ กรุงเทพฯ ปริมณฑล และต่างจังหวัด

1. เฟสที่ 1 กรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า พื้นที่นี้มี ความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางสูง อันเนื่องมาจากสภาพการจราจรหนาแน่น จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจริงจาก Longdo Traffic API เพื่อสะท้อนความผันผวนของเวลาเดินทาง ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยหลักในการสร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา

2. เฟสที่ 2 ต่างจังหวัด การเดินทางในพื้นที่ต่างจังหวัดมี เส้นทางที่ยาวและซับซ้อน แต่สภาพการจราจรไม่ผันผวนมากนัก จึงเน้นการปรับปรุงการกระจายเส้นทางเพื่อลดจำนวนรถและเพิ่มการใช้ประโยชน์ของยานพาหนะ

3. วิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับโปรแกรม MATLAB แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาได้ทั้งสองบริบท โดยให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจน คือ ลดจำนวนรถขนส่งลงได้ ลดเวลาการเดินทางรวมลงได้อย่างมีนัยสำคัญ จัดเส้นทางได้เหมาะสมและสมดุลมากขึ้น

4. ผลการเปรียบเทียบกับตารางแผนของบริษัท ผลลัพธ์จากแบบจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้นทางจริงของบริษัทรถโดยสาร พบว่า แบบจำลองสามารถช่วยลด จำนวนรถขนส่ง เวลาการขนส่งและความเสี่ยงของการสูญเสียคุณภาพสินค้าได้ดีกว่าแบบเดิมในทั้งสองเฟส

โดยสรุปองค์ความรู้ใหม่จากงานวิจัยนี้ คือ แนวทางการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับข้อมูลจริงจาก API ในการออกแบบเส้นทางโลจิสติกส์ให้ความยั่งยืนที่สะท้อนสภาพปฏิบัติจริงของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ให้ความยั่งยืน ลดการสูญเสียและขยายผลสู่ระบบขนส่งสินค้าอื่น ๆ ได้ในอนาคต

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลัก 3 ประการ ได้แก่ การวิเคราะห์ผลกระทบของความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง การพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางแบบสองระยะและการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับเส้นทางจริงขององค์กร ผลการศึกษาโดยใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบกับ MATLAB พบว่า สามารถลดจำนวนรถ เวลาการขนส่งและระยะทางรวมได้อย่างมีนัยสำคัญทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด โดยไม่กระทบต่อปริมาณสินค้าที่ต้องส่งมอบ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ยานพาหนะและลดความเสี่ยงจากการสูญเสียคุณภาพสินค้า องค์ความรู้ใหม่ที่ได้สะท้อนว่าการใช้ข้อมูลจริงจาก Google Maps API และ Longdo Traffic API ร่วมกับขั้นตอนวิธีการเชิงเมตาฮีริสติกส์สามารถสร้างเส้นทางที่มีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับสภาพจริงของประเทศไทยได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่เพียงสนับสนุนการลดต้นทุนโลจิสติกส์ แต่ยังเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมให้มีความยั่งยืนและสอดคล้องกับแนวโน้มด้านความยั่งยืน ขณะเดียวกันยังเป็นรากฐานสำหรับการพัฒนาไปสู่ระบบหลายคลังสินค้าและการคำนึงถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อม เพื่อยกระดับระบบโลจิสติกส์ไทยให้มีมาตรฐานเทียบเท่าสากล ส่วนข้อเสนอแนะ คือ 1) ควรนำแนวทางการใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบร่วมกับข้อมูลจราจรจริงมาใช้วางแผนเส้นทาง เพื่อลดจำนวนรถ เวลาการขนส่งและความเสี่ยงจากการสูญเสียคุณภาพของสินค้า 2) ควรต่อยอดการศึกษาไปสู่ระบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบหลายศูนย์กระจายสินค้าภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลาและเพิ่มตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอน และ 3) ภาครัฐควรสนับสนุนการบูรณาการข้อมูลจราจรแบบใช้เวลาจริงร่วมกับงานวิจัย เพื่อยกระดับคุณภาพโลจิสติกส์ให้มีความยั่งยืน ลดการสูญเสียอาหารและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศสู่ระดับโลก

เอกสารอ้างอิง

Anderluh, A. et al. (2020). Impact of travel time uncertainties on the solution cost of a two-echelon vehicle routing problem with synchronization. Flexible Services and Manufacturing Journal, 32, 806-828. <https://doi.org/10.1007/s10696-019-09351-w>.

- Babae, T. et al. (2020). A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational Intelligence*, 36(1), 80-101.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 17. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>.
- Hu, L. et al. (2021). Optimization of VRR for cold chain with minimum loss based on actual traffic conditions. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 10. <https://doi.org/10.1155/2021/2930366>.
- Leng, L. et al. (2020). A novel bi-objective model of cold chain logistics considering location-routing decision and environmental effects. *PLOS ONE*, 15(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230867>.
- Wang, Z. et al. (2020). A hyperheuristic approach for location-routing problem of cold chain logistics considering fuel consumption. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.1155/2020/8395754>.
- Wu, D. et al. (2022). A new route optimization approach of fresh agricultural logistics distribution. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 34(3), 1554-1570.
- Xia, Y. et al. . (2018). Tabu search algorithm for the distance-constrained vehicle routing problem with split deliveries by order. *PLOS ONE*, 13(5), e0195457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195457>.
- Xu, W. D. & Li, J. (2020). A fissile ripple spreading algorithm to solve time-dependent vehicle routing problem via coevolutionary path optimization. *Journal of Advanced Transportation*, 13. <https://doi.org/10.1155/2020/8815983>.
- Zhang, Y. et al. (2020). Cold chain distribution: How to deal with node and arc time windows? *Annals of Operations Research*, 291, 1127-1151. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-3071-0>.